

HAVALANDIRMA VE İÇ HAVA KALİTESİ AÇISINDAN CO₂ MİKTARININ ANALİZİ

Hüsamettin BULUT

ÖZET

İnsanların sağlığı ve verimi ile doğrudan ilişkisi nedeniyle iç hava kalitesinin önemi günümüzde artmaktadır. CO₂ iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO₂ hissedicileri iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinde kullanılarak, gerekli temiz dış hava iç ortama sevk edilerek ihtiyaca dayalı havalandırma yapılmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Bu çalışmada, konut, ofis, derslik gibi değişik ortamlarda CO₂ miktarı ölçümü alınarak, iç hava kalitesi ve havalandırma açısından analizler yapılmıştır. CO₂ miktarının ortamdaki değişimi, kişi sayısı, sıcaklık ve bağıl nem gibi diğer iç hava kalitesi parametreleri ile birlikte incelenmiştir. Doğal havalandırılabilir ortamlarda meydana gelen hava sızıntısı hesaplanarak havalandırmanın iç hava kalitesi açısından yeterli olup olmadığı tespit edilmiştir. CO₂ miktarına göre ihtiyaca dayalı havalandırma yapıldığında gerekli havalandırma miktarları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, havalandırma, CO₂, enerji verimliliği.

ABSTRACT

Nowadays, the importance of indoor air quality is increasing due to its direct relation with human health and efficiency. Carbon dioxide is an important pollutant in controlling indoor air quality. CO₂ sensors are used in air-conditioning and ventilation systems in order to achieve acceptable indoor air quality. Demand controlled ventilation was made by supplying required fresh outdoor air to indoor environment. Demand controlled ventilation can make energy saving. In this study, CO₂ levels are measured in different spaces such as house, office and classrooms. The results of measurements are analyzed in view of indoor air quality and ventilation. The relationship and correlation between indoor CO₂ level and other pollutants are determined statistically. Air leakage from infiltration is also calculated. It is seen that natural ventilation rate is not enough for indoor air quality. CO₂ based demand control ventilation is one of the best solution for both acceptable indoor air quality and ventilation strategy.

Key Words: Indoor air quality; ventilation, CO₂, Energy efficiency.

1. GİRİŞ

İç hava kalitesi, iç ortam havasının temizliği ile ilgili olup karmaşık bir yapıya sahiptir. İnsanların içinde bulunduğu havadan farklı beklentileri olduğu ve farklı algılamalarından dolayı, iç hava kalitesi için kesin sınırlar çizmek veya tanımlamak zordur. Bundan dolayı, "kabul edilebilir iç hava kalitesi" terimi ortaya çıkmıştır. ASHRAE 62–1989, 2001 ve 2004 Standardında kabul edilebilir iç hava kalitesi "İçinde, bilinen kirleticilerin, yetkili kuruluşlar tarafından belirlenmiş zararlı konsantrasyonlar seviyelerinde bulunmadığı ve bu hava içinde bulunan insanların %80 veya daha üzerindeki oranın havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir memnuniyetsizlik hissetmediği havadır" olarak açıklanmaktadır [1,

2, 3]. İç hava kalitesi ile bağlantılı olarak Tight Building Syndrom -TBS (Kapalı Bina Sendromu), Sick Building Syndrom-SBS (Hasta Bina Sendromu) ve Building Related illness-BRI (Bina Bağlantılı Hastalıklar) olarak adlandırılan sağlık problemleri tanımlanmaktadır [4, 5]. Yapılan birçok araştırmada iç ortamdaki kirleticilerin seviyesi, dış ortama göre daha yüksek olduğu görülmüştür [6]. İnsanlar zamanlarının %90'ı gibi büyük bir kısmını iç hacimlerde geçirdiği ve bu hacimlerdeki kirleticilerin ortamdaki uzaklaştırılmadığı dikkate alındığında, iç hava kalitesinin neden önemli ve dikkat edilmesi gereken bir konu olduğu ortaya çıkmaktadır.

İç hava kalitesi, sadece konfor için değil, sağlık ve verimlilik için de gereklidir. Binalarda hava kalitesini kontrol için genelde havalandırma ve temizlik olmak üzere 2 yaklaşım benimsenmiştir. Dış hava ile temiz havayı içeri verme olan havalandırmanın yanında havanın filtrasyonu da gerekmektedir [7].

İç hava kalitesini bozan kirleticiler iç ortam ve dış ortam kaynaklıdır. İç ortam kirlilik kaynaklarının başında insan gelmektedir. Bunun yanında iç ortamda bulunan halılar, mobilyalar, temizlik için kullanılan maddeler, sigara dumanı, soba dumanı ve çeşitli amaçlar için kullanılan alet ve cihazlar diğer iç kirleticilerdir. Dış ortam kirleticileri ise atmosfer havasındaki tozlar, polenler, araba egzozları ve endüstriyel kaynaklı havaya atılan kirleticiler olabilir. Dış ortam havasında bulunan kirleticiler, içeri verilen dış hava veya içeri sızan dış hava ile iç hava kalitesini olumsuz etkilerler. Sonuçta iç hava kalitesi düşük olan ortamlarda kirleticilere maruz kalan kişiler, alerji, enfeksiyon, zehirlenme ve yorgunluk gibi çeşitli sağlık problemleri ve rahatsızlıklar yaşarlar.

İç ortamdaki sıcaklık (T), bağıl nem (BN), hava hızı, karbondioksit (CO₂), solunabilir asılı partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), azot oksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), ozon (O₃), kükürtdioksit (SO₂), radon, formaldehitler (HCHO), bakteri sayısı gibi parametreler ölçülerek iç hava kalitesinin durumu ve değerlendirilmesi yapılmaktadır [8–10].

Bu çalışmada, CO₂ miktarına göre ihtiyaca dayalı havalandırmanın temel prensipleri açıklanmıştır. Ayrıca konut, ofis, derslik gibi değişik ortamlarda CO₂ miktarı ölçümleri alınarak, iç hava kalitesi ve havalandırma açısından analizler yapılmıştır.

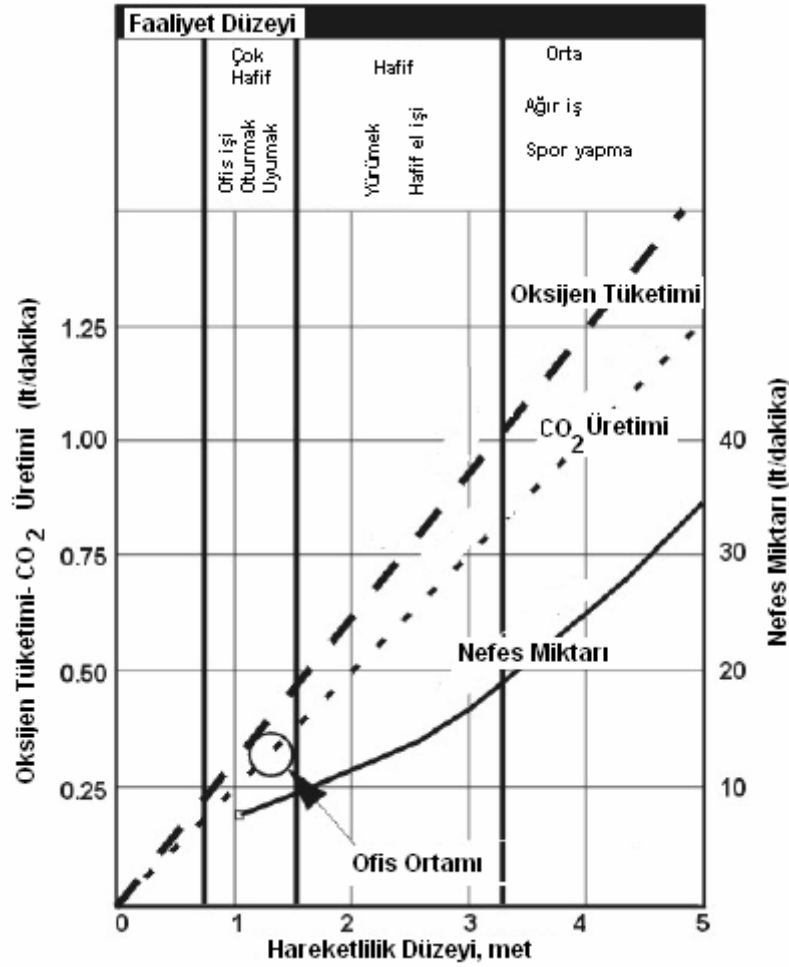
2. İÇ ORTAMDAKİ CO₂ MİKTARI

CO₂ iç hava kalitesini kontrol etmek için önerilen önemli bir iç hava kirleticisidir. Normalde atmosfer havasının hacimsel olarak %0.03'ü CO₂'dir. Dış ortam havasında bulunan CO₂, çevre özelliklerine göre 330 ile 500 ppm arasında değişmektedir. Dolayısıyla iç ortamda CO₂'in olmaması mümkün değildir. CO₂ zehirli bir gaz değildir fakat oksijensizlikten boğma tehlikesi ortaya çıkarabilir. Konsantrasyon değeri 35000 ppm'i geçtiğinde, merkezi nefes sinir alıcıları tetiklenir ve nefes alma noksanlığına sebep olur. Daha yüksek konsantrasyonlarda oksijen azlığından dolayı merkezi sinir sistemi görevini yapamamaya başlar [11].

İnsanlar nefes alıp vermeleri ile iç ortama CO₂ verirler. Normal bir iş ile uğraşan bir insan saate 20 litre (0.02 m³) CO₂ üretir [5]. Bu yüzden iç ortamda havalandırma yapılmazsa insan sayısı arttıkça, CO₂ derişimi artar. İnsanlardan mahal havasına aktarılan CO₂ gazı miktarı, meşguliyet durumlarına göre değişebilir. Tablo 1'de insanların meşguliyet durumlarına göre havaya verdikleri CO₂ miktarları verilmiştir [12]. Şekil 1'de ise faaliyet (hareketlilik) düzeyine göre nefes alma miktarı, oksijen tüketimi ve CO₂ üretim miktarının derişimi verilmiştir [13]. Şekilden CO₂ üretiminin ve nefes alma miktarının metabolik aktiviteye bağlı olduğu görülmektedir (1 met= 58 W/m²).

Tablo 1. İnsanların Meşguliyet Durumlarına Göre Havaya Verdikleri CO₂ Miktarı

Durum	Faaliyet derecesi	CO ₂ veriş miktarı (litre/saat)
Oturan	I	15
Elle hafif iş yapma	II	23
Elle iş yapma veya yavaş yürüme	III	30
Ağır iş yapma veya hızlı yürüme	IV	30



Şekil 1. Faaliyet Düzeyine Göre Nefes Alma Miktarı, Oksijen Tüketimi ve CO₂ Üretim Miktarının Değişimi

3. CO₂ MİKTARI VE HAVALANDIRMA

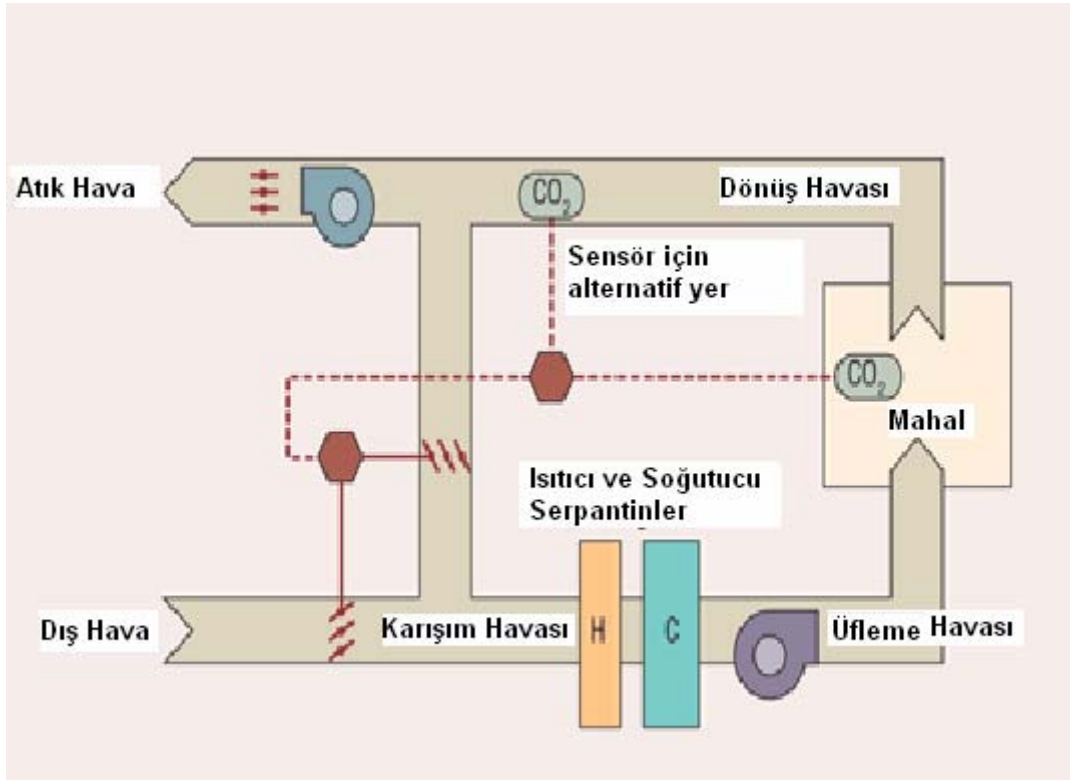
Havalandırma, mekanik veya doğal olarak bir mahale hava sağlanması veya mahalden hava alınması olarak tanımlanır. Havalandırma, esasen kirlenen iç havanın tazelenmesidir ve sağlık için yeterli temiz dış hava sağlanmasıdır. Temiz hava için havalandırma miktarı, mahaldeki kişi sayısına, mahal taban alanına ve mahal hava değişimine göre belirlenebilir. Ancak iç hava kalitesi açısından en uygunu ortamdaki CO₂ miktarına göre havalandırma yapılmasıdır. Çünkü mahale verilmesi gereken hava miktarının görevi, iç ortamdaki kirlenici oranlarını düşürmek ve kirlenici için belirlenen seviyelerin üstüne çıkılmasını engellemektir. Mahalde bulunan malzemeler ve insanlardan kaynaklanan kirlenicilerin kontrolü gerekmektedir. İnsan tarafından tüketilen oksijen miktarı düşük yoğunluktaki bir mahal için çok küçük olacağı için temiz hava ihtiyacı için ana belirleyici olmamaktadır. Mahaldeki, radon, formaldehite, değişik organik bileşikler, partikül madde, CO₂, kokular ve NO_x'ler temel iç ortam kirlenicilerdir. Her bir kirlenici için mahale göre belirli bir sınır tayin edilmiştir. Ancak, pratik açıdan mahaldeki her bir kirlenici miktarının ve konsantrasyonunun kontrolü mümkün değildir. CO₂ bütün diğer kirlenicileri yaklaşık olarak temsil ettiği kabul edilmektedir ve CO₂ miktarına göre havalandırma yapılmaktadır [4].

İç ortamdaki minimum CO₂ derişikliğini sağlamak için, mahale verilmesi gereken hava miktarı (m³/saat);

$$\dot{V} = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{C_s - C_d} 10^6 \quad (1)$$

denklemlerle bulunabilir. Burada \dot{V}_{CO_2} Mahal içindeki insanların ürettiği CO₂ miktarı (m³/saat), C_s ve C_d ise sırasıyla mahalde izin verilen sınır CO₂ miktarı (ppm) ve dış ortam CO₂ miktarını (ppm) vermektedir. Sınır CO₂ miktarı ile ilgili kesin bir değer olmamakla birlikte, CO₂ miktarı için sınır değer 1000 ppm en çok kabul edilen değerdir. Dolayısıyla 1000 ppm CO₂ konsantrasyonu, iç hava kalitesi için temel kabul edilmektedir [1, 2, 4]. Eğer CO₂ miktarı bu seviyeden düşük ise iç ortamdaki hava, kabul edilebilir iç hava kalitesindedir. 1000 ppm CO₂ miktarı, Pettenkofer sayısı olarak da bilinmektedir [5]. Kabul edilebilir iç hava kalitesi oluşturmak için CO₂ hissedicileri havalandırma sistemleri ile kullanılarak, gerekli temiz dış hava iç ortama sevk edilmektedir.

Tiyatro, sinema ve konferans salonları, toplantı odaları, lokantalar, müzeler, mağazalar, spor salonları gibi mahallerin taze hava ihtiyaçları, içinde bulunan insan sayısı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu değişim göz önüne alınmayarak maksimum yüke göre hesap yapıldığında ve bu mahallerde az sayıda kişi bulunduğu zamanlarda büyük enerji kayıpları oluşmaktadır. İhtiyaca dayalı havalandırma, havalandırılan mahallerin özelliklerine göre mahaldeki hava kalitesini basit CO₂ hissedicileri veya karma gaz hissedicileri ile ölçerek, mahale verilen taze hava miktarını ihtiyaca göre değiştirerek içerisinin hava kalitesini ideal şartlarda tutan sistemlerdir [14]. Şekil 2'de CO₂ miktarına göre ihtiyaca dayalı bir havalandırma sistemi gösterilmiştir [15].



Şekil 2. CO₂ Kontrollü İhtiyaca Dayalı Havalandırma Sistemi

İhtiyaca dayalı havalandırmanın temel amacı yüksek düzeyde bir iç hava kalitesi sağlama ve aynı zamanda fazla havalandırma yapmayıp enerji tasarrufu sağlamaktır. İhtiyaca dayalı havalandırma en az enerji harcanarak mahal iç hava kalitesini ideal standartta tutan sistemlerdir. Bu da havalandırılan mahalin özelliklerine göre mahaldeki hava kalitesinin basit CO₂ hissedicileri veya karma gaz hissedicileri kullanılarak mümkündür [13]. Karma gaz hissedicileri CO₂ hissedicilerinden daha ucuzdur (CO₂ hissedicilerinin fiyatının yaklaşık 1/3'ü) ve insan burnuna yakın duyarlılıkta tüm kirletici gazları ve

uçucuları hissetme özellikleri vardır. Bu nedenle tütün içilen balo salonları, toplantı odaları, lokantalar, giyinme odaları gibi tüm mahallerde kullanılabilirler. Bu güne kadar elde edilen deneyimler, karma gaz hissedicilerinin küçük ve orta büyüklükteki havalandırma sistemlerinde kullanıldığında daha ekonomik, CO₂ hissedicilerinin ise ancak tütün içilmeyen ve asıl kirlilik kaynağını insanların oluşturduğu büyük ölçekli havalandırma sistemlerinde kullanıldığında ekonomik olduğunu göstermiştir [14].

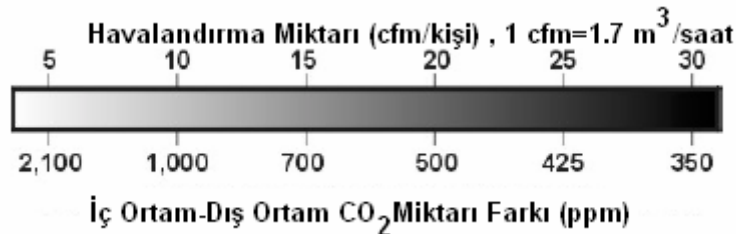
İhtiyaca dayalı havalandırma sisteminde CO₂ sensörü, hava kanallına veya duvara monte edilir. Sensörün yeri, sistem tipine ve binaya göre değişebilir. Kanala monteli CO₂ sensörleri havalandırma sisteminde dönüş kanalına bırakılır. Bu tür uygulamalar, sürekli çalışan ve aktivite olarak aynı aktiviteye sahip ve insan yoğunluğunun aynı olduğu mahallerde uygulanır. Duvara monteli CO₂ sensörleri duvar termostatına benzer şekilde kullanılır. Mahaldeki yeri, kullanılan yerin iç şartlarını gösterecek şekilde olmalıdır. Mahal çıkışlarından, hava menfezlerinden ve insanların sıklıkla oturup kalktıkları yerlerden uzak yerlere konulmalıdır [13].

Tecrübeler ve saha çalışmaları, mahaldeki CO₂ miktarının hava kalitesi için güvenilir bir gösterge olduğunu göstermiştir. Bu yüzden mahaldeki CO₂ miktarı ihtiyaca dayalı havalandırma sistemlerinde belirleyici bir parametre olarak kullanılmaktadır. Çünkü mahallerdeki insanlar CO₂'in ana üreticileridir. Eğer bir mahaldeki insan sayısı ikiye katlanırsa CO₂ miktarı da ikiye katlanır. Eğer mahaldeki insan sayısı azalır, CO₂ miktarı da buna paralel olarak azalır [4]. Ancak mahalde başka bir kirlenici kaynak varsa havalandırma ihtiyacında bunun göz önüne alınması veya karma gaz algılayıcıların kullanılması gerekir.

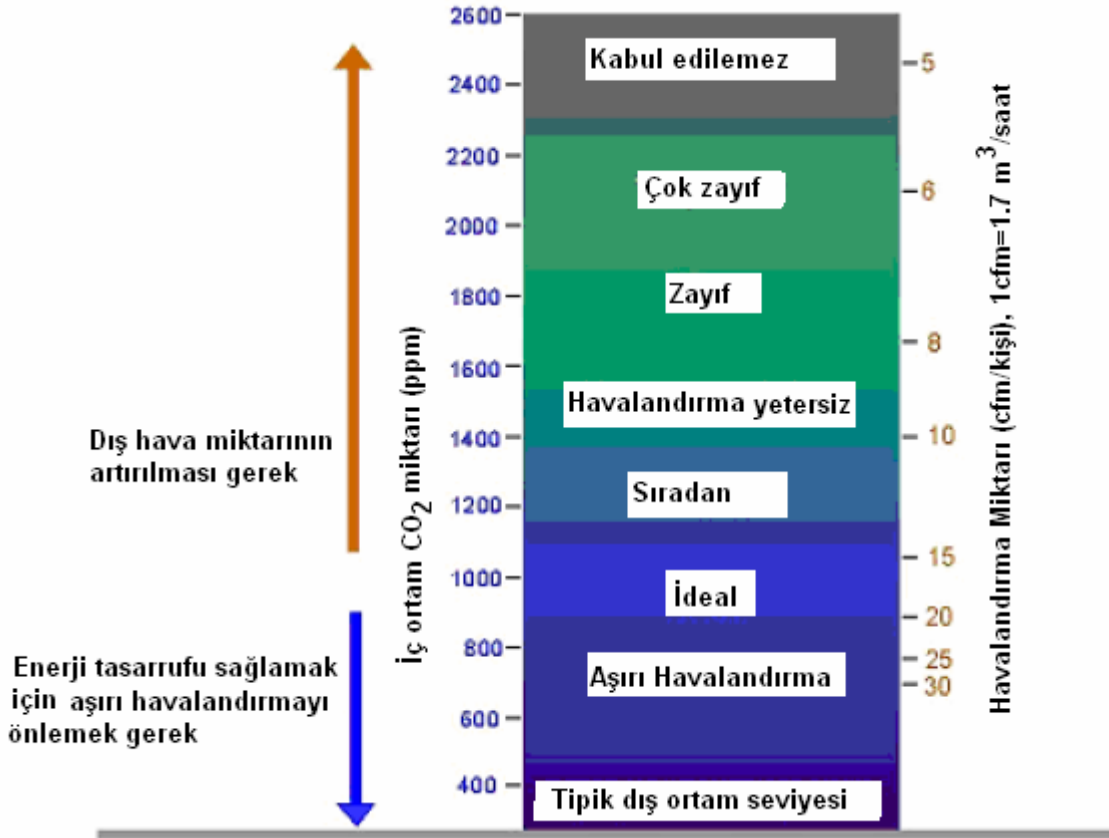
CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi, havalandırmanın azaltılması ile enerji tasarrufu sağlanacağı olan geleneksel çatışmayı çözer ve dengeyi sağlar. Eğer düzgün ve uygun bir şekilde uygulanırsa aşağıdaki faydaları sağlar [13];

1. Mahalin aralıklı veya kısmi kullanımında maliyetli aşırı havalandırmayı önleyerek enerji tasarrufu sağlar. Geri ödeme süresi birçok uygulama için 2 yıl veya daha azdır.
2. Kişiye göre gerekli hava miktarını sağlayarak kabul edilebilir iç hava kalitesini oluşturur.
3. CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi sadece dışarıdan temiz hava almak değildir, eğer doğal havalandırma ve hava sızıntısı ile içeri yeterince hava girerse, dışarıdan mekanik olarak alınacak hava miktarı olmaz veya minimum seviyede olur.
4. CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi ile kişi başı istenen hava miktarı (kişi başı 25- 85 m³/saat değişebilir) ayarlanabilir.
5. CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemi, eğer istenen iç şartlar mevcutsa ve aşırı durumdaki dış hava şartları için ısı konfor şartlarının artırılmasına da yardımcı olur. Çok soğuk, çok sıcak veya nemli havayı içeri almayarak ısı konforuna yardımcı olur.

1000 ppm'in üstündeki CO₂ miktarı, yeterli bir iç hava kalitesi elde etmek için havalandırmanın yetersiz olduğunu gösterir. 600 ppm'in altındaki CO₂ miktarı havalandırmanın kısılabileceğini ve enerji tasarrufu yapılabileceğini gösterir. Ofislerde iç ortam-dış ortam CO₂ farkına göre kişi başı havalandırma miktarı şekil 3'te verilmiştir. Karbondioksit seviyesi ile havalandırma arasındaki ilişki ise şekil 4'te gösterilmiştir [4]. Şekilden CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırmada, iç hava kalitesi açısından hassas ihtiyacın belirlenmesi enerji verimliliğine de neden olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Ofislerde İç Ortam-Dış Ortam CO₂ Farkına Göre Kişi Başı Havalandırma Miktarı



Şekil 4. Karbondioksit Seviyesi ile Havalandırma Arasındaki İlişki.

4. HAVA SIZINTISI (İNFİLTASYON) YOLUYLA İÇ ORTAMA GİREN DİŞ HAVA MİKTARI

Bu çalışmada ölçüm alınan konut, sınıf ve ofisler doğal havalandırmalı olduğundan dış kapı ve pencerelerden infiltrasyon (hava sızıntı) yoluyla iç ortama geçen dış hava miktarı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

Sızıntı yoluyla ısı kaybı,

$$Q = \frac{1}{3.6} \sum (al)RHZ_e \Delta T \quad (2)$$

denklemleri ile belirlenir [15]. Ayrıca, bu ısı kaybı,

$$Q = \dot{V} \rho C \Delta T \quad (3)$$

Denklemleri ile de tespit edilebilir. (2)ve (3) denklemleri eşitlenip gerekli işlemler yapıldığında dış hava miktarı, \dot{V} , [m³/h] olarak;

$$\dot{V} = 0.805 \sum (al)RHZ_e \quad (4)$$

olarak hesaplanabilir. Denklemlerdeki terimler;

- a : Sızdırganlık katsayısı (m^3/mh),
 l : Dış duvarlar üzerinde bulunan pencere veya kapıların açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m),
 R : Oda durum katsayısı (Yapı iç hacminin rüzgâr geçirgenlik katsayısı) (Boyutsuz),
 H : Bina durum katsayısı (Rüzgâr etkinliği katsayısı) (kJ/m^3K),
 ΔT : İç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark (K),
 Z_e : Köşe açıklıkları etki katsayısı (Her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1.2, diğer odalar için 1 alınır),

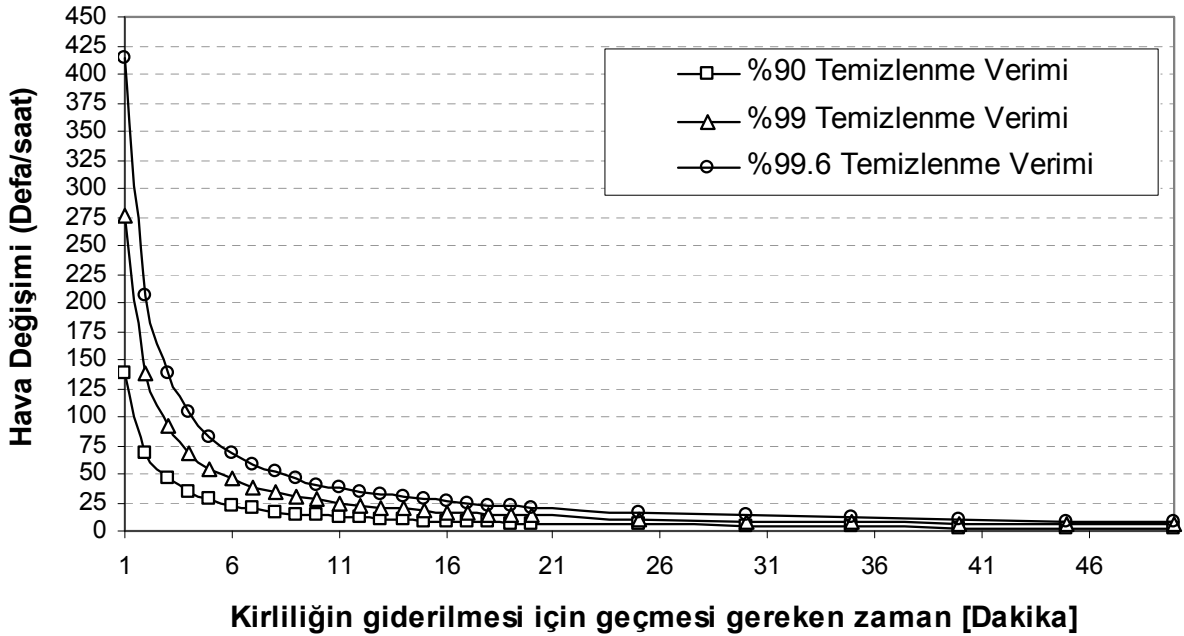
olarak tanımlanmıştır. R (0.7), H (3.52), a (2) katsayıları tablolardan alınmıştır [15]. “l” değeri ise mahallerde pencere ve kapıların açılan kısımları ölçülerek tespit edilmiştir.

Denklem 3’te ortalama dış hava sıcaklığı göz önüne alınarak, ρ , hava yoğunluğu 1.235 kg/m^3 ve C, hava özgül ısısı ise 1006 J/kg K olarak alınmıştır [16].

Odanın hava değişim sayısı, HDS [1/saat],

$$HDS = \frac{\dot{V}}{V_{oda}} \quad (5)$$

denklemden hesaplanabilir. V_{oda} odanın hacmini [m^3] göstermektedir. Mekanik (Cebri) havalandırmada hava değişim katsayısına göre oda havasındaki kirleticilerin bertaraf edilmesi için gerekli olan zaman miktarı temizlenme verimi yüzdesine (%90, %99 ve %99.6) göre şekil 5’te verilmiştir [4]. Şekilden hava değişim katsayısı çok yüksek olsa dahi havadaki kirlilik miktarının azalması için belirli bir zamana ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.



Şekil 5. Hava Değişiminin İç Ortam Kirliliği Üzerine Etkisi

5. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, el tipi lazer Partikül Madde Ölçer (Met One Aerocet 531), CO₂ Ölçer (Testo 535 ve Kanomax 2221), Sıcaklık-Nem Ölçer (Impac Tastotherm-Hum RP 2 ve Kanomax 2221) cihazları kullanılmıştır. Kanomax 2221 iç hava kalitesi monitörünün CO₂ ölçüm aralığı 0–5000 ppm ve hassasiyeti ±1ppm'dir. Testo 535 CO₂ ölçerine ise ölçüm aralığı 0–9999 ppm ve hassasiyeti ±1ppm'dir. Ölçümler, Ocak 2007 - Temmuz 2008 arası Şanlıurfa merkezde bulunan bir konutta ve Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi Binasında bulunan ofis ve sınıflarda yapılmıştır. Tüm mahaller merkezi kalorifer sistemi ile ısıtılmakta ve doğal havalandırma ile havalandırılmaktadırlar. Sınıflar ve ofislerin bazıları, yazın split tip klima ile soğutulmaktadır. Ofis ve dersliklerde çift camlı PVC pencereler, konutta ise tek camlı ahşap pencereler bulunmaktadır. Konutta kış mevsiminde, ofis ve dersliklerde ise kış ve yaz mevsiminde ölçümler alınmıştır. Analizlerde konut için 57, sınıf için 65 ve ofis için 81 ölçüm verisi kullanılmıştır. Konutta, ölçümler oturanların hepsinin bir arada olduğu akşam saatlerinde kış boyunca her ay farklı günlerde alınmıştır. Sınıflarda eğitimin devam ettiği dönemlerde ders ve sınavların yapıldığı zamanlarda ölçümler alınmıştır. Ofislerde ise ölçümler yaz ve kış sezonlarında her ayda farklı günlerde mesai saatleri içinde yapılmıştır. Tüm ölçümler mahallerin farklı bölgelerinde nefes alma yüksekliklerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2'de sırasıyla konut, ofis ve sınıflarda alınan iç hava kalitesi ölçümlerinin ortalama, en düşük ve en yüksek değerleri verilmiştir. Tablodan ortalamalarda en büyük CO₂ miktarı kişi yoğunluğundan dolayı sınıflarda ölçülmüştür. Dış ortam CO₂ miktarının 313–475 ppm arasında değiştiği görülmektedir. Tablo 3'te iç ortam CO₂ miktarının dış ortam CO₂ miktarına oranı için istatistiksel değerler tüm mahaller göz önüne alınarak verilmiştir. Çizelgeden iç/dış CO₂ oranının her zaman 1 değerinden büyük olduğu görülmektedir. Konuttaki oranın büyük çıkması ölçümlerin sadece kış mevsiminde alınmasından dolayıdır. Fakat sınıflardaki iç/dış CO₂ oranının da çok yüksek değerlerde olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2. Mahaller İçin Alınan İç Hava Kalitesi Ölçümlerinin İstatistiksel Değerleri

Mahal		Kişi	İç ortam								Dış Ortam		
			T °C	BN %	CO ₂ ppm	PM ₁ mg/m ³	PM _{2.5} mg/m ³	PM ₇ mg/m ³	PM ₁₀ mg/m ³	TSP mg/m ³	T °C	BN %	CO ₂ ppm
Konut	Ortalama	3.3	23.3	52.7	1307	0.005	0.05	0.1119	0.146	0.2508	12.3	61.5	365
	Minimum	1	18	39.3	683	0	0.015	0.03	0.039	0.0635	3.43	30.7	313
	Maksimum	6	25.3	63	2080	0.014	0.1415	0.373	0.488	0.7655	18	95.3	430
Sınıf	Ortalama	25	24.4	38.9	998	0.003	0.0325	0.065	0.129	0.101	23.2	38.7	374
	Minimum	0	17.5	25	453	0	0.002	0.013	0.014	0.0067	7.7	18	326
	Maksimum	49	30.5	62.2	2324	0.026	0.11	0.203	0.92	0.278	36	94.3	475
Ofis	Ortalama	1.6	23.1	42.7	885	0.005	0.0265	0.0406	0.046	0.0622	22.6	38.9	352
	Minimum	1	17.8	29.2	344	0	0.001	0.003	0.003	0.004	6.8	10	315
	Maksimum	5	31	57.5	1685	0.136	0.485	0.543	0.62	0.707	38	94.2	456

Tablo 3. İç Ortam CO₂ Miktarının Dış Ortam CO₂ Miktarına Oranı (İç/Dış CO₂)

	Tüm Mahaller	Konut	Sınıf	Ofis
Ortalama	2.88	3.60	2.70	2.52
Minimum	1.01	1.77	1.20	1.01
Maksimum	6.54	6.28	6.54	4.43

Tablo 4'te CO₂ ve diğer ölçüm parametreleri arasındaki ilişkiyi veren korelasyon katsayıları ve önem seviyeleri verilmiştir. Tabloda üstteki birinci hücrede korelasyon katsayısı, alttaki hücrede ise önem seviyesi bulunmaktadır. Örneğin konutta alınan ölçüm sonuçlarına göre kişi sayısı ve CO₂ miktarı için korelasyon katsayısı 0.508, önem seviyesi p=0'dır. Bu durum parametreler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermekte ve p=0 olması seçilen p=0.05 önem seviyesine göre küçük olduğundan sonucun istatistiksel olarak anlamlı olduğunu belirtir. Çizelgeden görüleceği gibi CO₂ miktarı ile kişi sayısı, bağıl nem (BN) ve partikül madde (PM) miktarları arasında pozitif bir korelasyon vardır. Bu

durum CO₂ miktarının iç hava kalitesi açısından bu parametreleri de temsil edebileceğini göstermektedir. Tüm mahaller beraber incelendiğinde CO₂ ve kişi arasındaki korelasyonun zayıf çıkmasının nedeni konut ve sınıfta düşük yoğunlukta insan olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat diğer parametrelerle anlamlı düzeylerde korelasyon olduğu görülmektedir.

Tablo 4. İç Ortam İçin CO₂ ve Diğer Ölçüm Parametreleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları ve Önem Seviyeleri

Mahal	Kişi	T	BN	PM1	PM2.5	PM7	PM10	TSP
Konut	0.508	-0.043	0.555	0.439	0.322	0.232	0.229	0.277
	0	0.752	0	0.001	0.015	0.082	0.087	0.037
Sınıf	0.379	-0.352	0.564	0.388	0.06	0.009	0.298	0.056
	0.001	0.003	0	0.001	0.627	0.941	0.014	0.653
Ofis	0.48	-0.132	0.3	0.367	0.223	0.142	0.131	0.117
	0	0.24	0.006	0.001	0.045	0.205	0.244	0.299
Tüm Mahaller	0.109	-0.216	0.564	0.254	0.221	0.239	0.301	0.334
	0.118	0.002	0	0	0.001	0.001	0	0

Tablo 5'te ölçüm alınan mahallere ait sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarı, hava değişim sayıları (HDS) ve kişi başı 30 m³/saat dış hava ihtiyacına göre gerekli dış hava miktarı değerleri verilmiştir. Tablodan hava değişim sayılarının çok düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Konutta yüksek çıkmasının sebebi pencerenin tek cam ve ahşap olmasıdır. Sınıf ve ofislerde pencereler PVC ve çift camlı olması hava infiltrasyonunu önemli derecede düşürmektedir. Ancak tablodan sızıntı yoluyla içeri giren dış hava miktarının havalandırma ve iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı görülmektedir. Bu durum iç ortamdaki kirlenici derişimlerini de istenen seviyelere düşürememektedir. Tablo 6'da CO₂ miktarına ve normal kişi başı 30 m³/saat kabulüne göre verilmesi gereken hava miktarları arasındaki farklar verilmiştir. Tablodan CO₂ miktarına göre hava miktarının daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Sızıntı Yoluyla İç Ortama Geçen Dış Hava Miktarları ve Standartlara Göre Verilmesi Gereken Dış Hava Miktarları (Kişi başı 30 m³/saat kabulü ile)

Mahal	Ortalama Kişi sayısı, n	Sızıntı dış hava miktarı, \dot{V} [m ³ /saat]	HDS [1/saat]	Gerekli dış hava miktarı [m ³ /saat]
Konut	3.3	78	1.8	99
Sınıf	25	125	0.42	750
Ofisler	1.6	12.8	0.26	48

Tablo 6. Mahallere Verilmesi Gereken Temiz Dış Hava Miktarları

		CO ₂ miktarına göre		Fark, m ³ /saat
		m ³ /saat	kişi başı 30 m ³ /saat	
Konut	Ortalama	74	94	20
	Minimum	22	30	5
	Maksimum	150	180	45
Sınıf	Ortalama	566	717	151
	Minimum	24	30	6
	Maksimum	1244	1470	495
Ofis	Ortalama	81	100	20
	Minimum	22	30	5
	Maksimum	1195	1350	277
Tüm Mahaller	Ortalama	232	293	61
	Minimum	22	30	5
	Maksimum	1244	1470	495

SONUÇ

Değişik mahaller için iç ortamdaki CO₂ miktarları ölçülerek, iç hava kalitesi ve havalandırma açısından incelenmiştir. CO₂ miktarı kontrol edilerek ihtiyaca dayalı havalandırmanın temel esasları anlatılmıştır.

Konut, sınıf ve ofislerde iç hava kalitesi ölçümleri alınarak, CO₂ miktarının diğer parametrelerle ilişkisi incelenmiştir. CO₂ miktarı ile kişi sayısı, bağıl nem, partikül madde miktarları arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. CO₂ miktarının havalandırma için yeterli bir parametre olduğu görülmüştür. CO₂ miktarına göre havalandırma miktarları belirlenmiş ve CO₂ miktarına göre havalandırma yapıldığında enerji tasarrufu sağlanacağı görülmüştür.

Doğal havalandırmanın iç hava kalitesini sağlamadığı görülmüştür. Konutlarda ahşap pencerelerde hava infiltrasyon miktarının göreceli olarak yüksek olduğu fakat iç hava kalitesi açısından yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Sınıf ve ofislerde bulunan çift camlı PVC pencerelerin sıkı olması hava sızıntısının engellenmesi açısından iyi olduğu ancak temiz hava sağlamak açısından iyi olmadığı görülmüştür. Dersliklerin mutlak şekilde temiz hava ile beslenmesi gerekir. Dersliklerde, havalandırmanın CO₂ miktarına göre havalandırma yapılması enerji verimliliği açısından daha uygun olacaktır.

İnsan sayısının değişiklik gösterdiği sınıf, ofis, toplantı salonları ve banka gibi mahallerde en az enerji harcanarak ısı konfor ve iç hava kalitesi, CO₂ ölçümüne göre çalışan ihtiyaca dayalı havalandırma sistemleri kullanılarak sağlanabilir. Klasik havalandırma sistemi, enerji israfına ve kaynakların boşuna harcanmasına neden olabilir.

Sonuç olarak iyi bir iç hava kalitesi oluşturmak için mahaller için havalandırma sistemi kurulmalıdır. Enerji tasarrufu ve sağlıklı ortamlar için çalışanların iç hava kalitesi ile ilgili bilgilendirilmesi gerekir. Enerji verimliliği açısından CO₂ kontrollü ihtiyaca dayalı havalandırma sistemlerinin kullanılması daha uygundur. Ayrıca havalandırma sisteminde filtrasyonun yani hava temizliğinin iyi yapılması gerekir.

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE, "Standard 62- 1989- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1989.
- [2] ASHRAE, "Standard 62- 2001- Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2001.
- [3] ASHRAE, "Standard 62.1-2007 user's manual", Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2007.
- [4] BAS, E., "Indoor Air Quality-A Guide for Facility Managers", The Fairmont Pres, 2004.
- [5] SCHRAMEK, E., "Recknagel-Sprenger Schramek- Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı", TTMD, Ankara. 1999.
- [6] MONTGOMERY, D.D., KALMAN, D.A., Indoor/Outdoor Air Quality: Reference Pollutant Concentrations in Complaint-Free Residences, Applied Industrial Hygiene, 4 ,17-20, 1988.
- [7] KREIDER, J.F., RABL, A., "Heating and Cooling of Buildings-Design for Efficiency", McGraw-Hill Inc., 1994.
- [8] BULUT, H., Isıtma Sezonunda Ofislerde İç Hava Kalitesinin Araştırılması, İklim 2007- II. Ulusal İklimlendirme Kongresi Bildiriler Kitabı, 285-295, Antalya, 2007.
- [9] BULUT, H., Konutlarda İç Hava Kalitesi İle İlgili Ölçüm Sonuçlarının Analizi, Teskon 2007 VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 415-427, İzmir, 2007.
- [10] KUŞ, M., OKUYAN, C., BULUT, H., BULGURCU, H., Üniversite Dersliklerinde İç Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi, 8. Uluslararası Yapıda Tesisat Teknolojisi Sempozyumu / 8. International HVAC +R Technology Symposium, 223-237, İstanbul, 2008.
- [11] ASHRAE, "ASHRAE HandbookCD, 2001 Fundamentals", Chapter 9: Indoor Environmental Health, Atlanta, USA, 2003.
- [12] DOĞAN, H., "Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği", Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2002.

- [13]SCHELL; M. B., TURNER, S. C., OMAR, S. Application of CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation Using ASHRAE Standard 62: Optimizing Energy Use and Ventilation, ASHRAE Transactions, 104(2), 1213-1225, 1998.
- [14]AYTEK, U., Hava Kalitesi Kontrolü ve İhtiyaca Dayalı Havalandırma, III. Ulusal Tesisat Kongresi ve Sergisi, 859-866, 1997.
- [15]MURPHY, J., CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation with ASHRAE Standard 62.1-2004, Engineers Newsletter, 34(5), 1-8, 2005.
- [16]KARAKOÇ, H., “Kalorifer Tesisatı Hesabı”, Demir Döküm Teknik yayınları, No:9, 2006.
- [17]TAMER, Ş., “Klima ve Havalandırma”, Meteksan A.Ş., Ankara, 1990.

ÖZGEÇMİŞ

Hüsamettin BULUT

1971 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Batman’da tamamladı. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında 1996 yılında Yüksek Lisansını, 2001 yılında Doktorasını ise tamamladı. 1993–1998 yılları arasında Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde, 1998–2001 yılları arasında ise Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde 2003–2005 yıllarında Yardımcı Doçent olarak görev yaptı. 25.11.2005 tarihinde Doçent oldu. Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde 2003–2004 yıllarında Bölüm Başkanlığı, 2004–2008 yılları arası ise Bölüm Başkan Yardımcılığı görevlerini sürdürdü. Halen Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Prof. Dr. olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları iklim verileri ve enerji analizi, güneş enerjisi ve uygulamaları, ısıtma-soğutma ve iklimlendirme sistemleri ve uygulamaları, iç hava kalitesi ve enerji verimliliği ve tasarrufudur.